

CÁC PHƯƠNG PHÁP QUAN TRẮC VÀ XÁC ĐỊNH CHUYỂN VỊ TRỤ THÁP CẦU DÂY VĂNG CỦA HỆ THỐNG QUAN TRẮC CÔNG TRÌNH CẦU (SHMS)

Lương Minh Chính¹

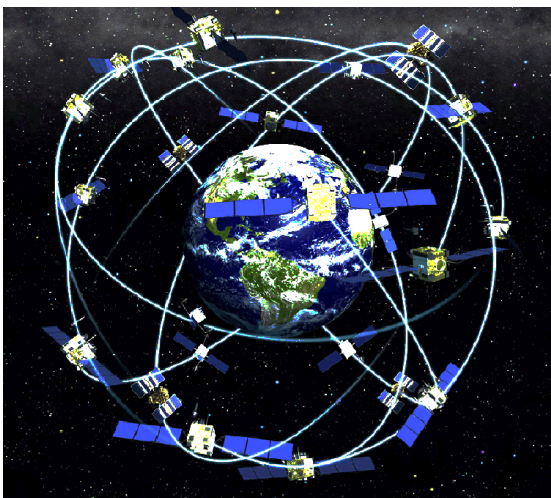
Tóm tắt: Hệ thống quan trắc công trình cầu dây văng là một hệ thống phức tạp, được tích hợp nhiều công nghệ tiên tiến nhằm quan trắc giám sát trạng thái công trình liên tục trong thời gian thực. Công nghệ GPS là một trong những công nghệ được áp dụng với mục đích giám sát các dao động và biến dạng của công trình. Nhưng với giá thành cao, giải pháp này có thể được thay thế bởi các cảm biến đo góc nghiêng với độ chính xác tương đương nhưng với giá thành rẻ hơn tới cả chục lần. Yếu tố kinh tế là một yếu tố quan trọng cần được lưu ý đối với việc thiết lập một hệ thống quan trắc công trình với những cầu dây văng đang triển khai ở nước ta. Qua bài viết này tác giả đưa ra những so sánh và đánh giá độ chính xác giữa hai công nghệ nhằm xác định biến dạng và dao động của trụ tháp cầu dây văng.

Từ khóa: GPS/GNSS, SHMS, hệ thống quan trắc cầu, cầu dây văng, cảm biến góc nghiêng

1. GIỚI THIỆU CHUNG VỀ HỆ THỐNG GPS

Hệ thống GPS (Global Positioning System) được thiết lập mạng lưới vệ tinh trong không gian bao quanh trái đất để cung cấp thông tin về vị trí và thời gian ở mọi lúc, mọi nơi trên trái đất và trong mọi điều kiện thời tiết. Cấu trúc của hệ thống này bao gồm 3 đoạn hoạt động:

- ❖ không gian (Space segment),
- ❖ điều khiển (Control segment),
- ❖ sử dụng (Use segment).



Hình 1. Mô phỏng các vệ tinh trên quỹ đạo

Hệ thống GPS nhận hệ tọa độ thế giới WGS-84 (World Geodetic System 1984) làm cơ sở hoạt động.

Vệ tinh phát ra các tín hiệu bao gồm vị trí của chúng, thời điểm phát tín hiệu. Máy thu tính toán được khoảng cách từ các vệ tinh, giao điểm của các mặt cầu có tâm là các vệ tinh, bán kính là thời gian tín hiệu đi từ vệ tinh đến máy thu x vận tốc sóng điện từ là tọa độ điểm cần định vị. GPS là một hệ thống gồm 27 vệ tinh (24 vệ tinh hoạt động và 3 vệ tinh dự phòng) chuyển động trên các quỹ đạo chung quanh trái đất (hình 1).

1.1. Tín hiệu GPS

Các vệ tinh GPS phát hai tín hiệu vô tuyến công suất thấp dải L1 và L2 (dải L là phần sóng cực ngắn của phổ điện từ trải rộng từ 0,39 tới 1,55 GHz). GPS dân sự dùng dải L1 với tần 1575.42 MHz trong dải UHF. Tín hiệu truyền trực thị, có nghĩa là chúng sẽ xuyên qua mây, thủy tinh và nhựa nhưng không qua phần lớn các đối tượng cứng như núi và nhà. Tín hiệu GPS chứa ba mẫu thông tin khác nhau – mã giả ngẫu nhiên, dữ liệu thiên văn và dữ liệu lịch.

1.2. Độ chính xác của GPS

Các máy thu GPS ngày nay rất chính xác, nhờ vào thiết kế nhiều kênh hoạt động song song của chúng. Các máy thu GPS có độ chính xác trung bình trong vòng 15 mét.

¹ Trường Đại học Thủy lợi

Bảng 1.1 Các tín hiệu GNSS hiện nay và được đề xuất (Mhz)

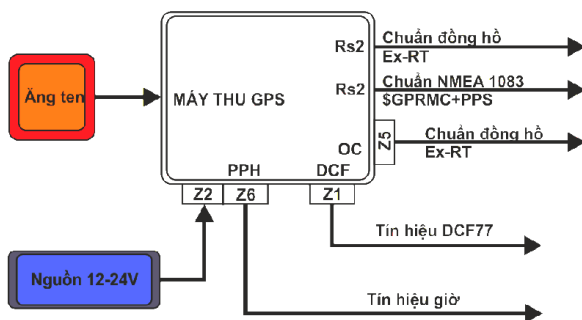
System	L1/E1/E2/B1	L2/B2	L5/E5	E6/B3
GPS	1575.42	1227.6	1176.45	
GLONASS	1598.063 - 1605.375	1242.938 - 1248.625		
Galileo	1575.42		1176.45, 1207.14, 1191.795	1278.75
Compass	1561.098, 1575.42, 1589.742	1207.14	1176.45	1268.52
QZSS	1575.42	1227.6	1176.45	1278.75
SBAS	1575.42			
OmniSTAR and CDGPS	1525 - 1560			

Các máy thu mới hơn với khả năng WAAS (Wide Area Augmentation System) có thể tăng độ chính xác trung bình tới dưới 3 mét. Không cần thêm thiết bị hay mất phí để có được lợi điểm của WAAS. Người dùng cũng có thể có độ chính xác tốt hơn với GPS vi sai (Differential GPS, DGPS) sửa lỗi các tín hiệu GPS để có độ chính xác trong khoảng 3 đến 5 mét.

2. CÁCH HOẠT ĐỘNG CỦA TRẠM THU GPS

Trạm thu GPS thường bao gồm những thành phần sau:

- Ăng ten thu sóng,
- Thiết bị thu sóng radio từ vệ tinh,
- Thiết bị chuyển đổi tín hiệu radio,
- Modem hoặc thiết bị truyền dữ liệu (để truyền các dữ liệu thu thập được từ các vệ tinh đến các server để có thể thực hiện các tính toán),
- Thiết bị cung cấp điện năng (có thể là pin năng lượng mặt trời hoặc ắc quy).



Hình 3. Sơ đồ cấu tạo của một trạm thu GPS

Công việc của một trạm thu GPS là xác định vị trí của 4 vệ tinh hay hơn nữa, tính toán khoảng cách từ các vệ tinh và sử dụng các thông tin đó để xác định vị trí của chính nó. Quá trình này dựa trên một nguyên lý toán học đơn giản, ta có 3 (hoặc 4) mặt cầu giao nhau tại một điểm.

2.1. Xác định khoảng cách đến vệ tinh

Bằng cách phân tích sóng điện từ tần số cao, công suất cực thấp từ các vệ tinh, các trạm thu GPS tính toán ra được hai thứ trên. Các trạm thu chuyên dụng có thể thu nhận tín hiệu của nhiều vệ tinh đồng thời. Sóng radio chuyển động với vận tốc ánh sáng, tức là 300 ngàn km/giây trong chân không. Máy thu có thể tính toán được khoảng cách dựa vào thời gian cần thiết để tín hiệu đến được máy thu.

2.2. Xác định vị trí của vệ tinh

Sau khi đã biết khoảng cách rồi, chúng ta còn phải xác định vị trí chính xác của các vệ tinh trên quỹ đạo. Điều này cũng không khó lắm vì các vệ tinh chuyển động trên các quỹ đạo biết trước và có thể dự đoán được. Trong bộ nhớ của mỗi máy thu đều có chứa một bảng tra vị trí tính toán của tất cả các vệ tinh vào bất kỳ thời điểm nào gọi là Almanac.

3. ỨNG DỤNG HỆ THỐNG GPS TRONG HỆ THỐNG QUAN TRẮC BIỂN DẠNG CÔNG TRÌNH – SHMS

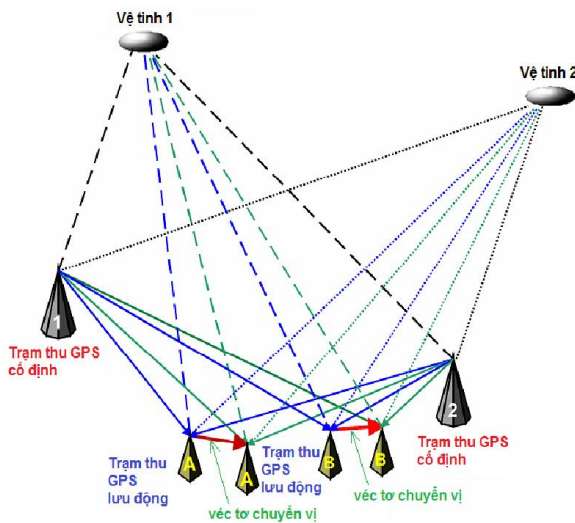
Hệ thống quan trắc công trình xây dựng, trong đó có cả các công trình cầu là đề tài của nhiều nghiên cứu. Hệ thống giám sát trắc địa công trình là một phần của hệ thống quan trắc công trình. Khác với các công tác kiểm tra định kỳ công trình thì hệ thống quan trắc giám sát công trình một cách liên tục trong thời gian thực, thu thập và cung cấp các dữ liệu chính xác về các trạng thái kết cấu cũng như chuyển vị và biến dạng của công trình, giúp chúng ta đảm bảo công trình được khai thác một cách hiệu quả. Việc ứng dụng công nghệ GPS trong xác định chuyển vị và biến dạng công trình với độ chính xác lên đến vài milimet. Điều này cho phép chúng ta xác định được các chuyển vị và biến dạng nhỏ của những công trình cầu lớn. Nhưng hệ thống

GPS cũng có những giới hạn nhất định, chẳng hạn GPS bị hạn chế một phần bởi đa đường dẫn và độ trượt chu kỳ, tần số dữ liệu tương đối thấp, cũng như GPS yêu cầu phải có độ phủ sóng tốt của các vệ tinh.

3.1. Các xác định chuyển vị của công trình bằng hệ thống GPS.

Về cơ bản thì các trạm GPS ứng dụng trong quan trắc được chia làm 2 loại:

- Trạm lưu động (để đo đạc) – rover station
- Trạm cố định (để so sánh) – reference station.



Hình 4. Phương thức đo chuyển vị bằng hệ thống GPS

Việc xác định tọa độ được thực hiện bằng cách lấy chiều dài các véc tơ của trạm cố định trừ đi chiều dài các véc tơ của trạm lưu động để xác định chiều dài véc tơ giữa trạm cố định và lưu động. Các tọa độ này sẽ được xác định và tính toán cho mỗi chu kỳ đo (lần đo). Bằng cách này các chuyển vị của các vị trí đo đạc được xác định bằng hiệu số các tọa độ của các véc tơ cho mỗi chu kỳ đo so với tọa độ ban đầu (hình 4).

Hiện nay các công trình cầu lớn ở Việt Nam, đặc biệt là các cầu dây văng như cầu Cần Thơ, tiến tới là cầu Vàm Cống, cầu Cao Lãnh đều được lắp đặt các hệ thống quan trắc trạng thái kết cấu công trình – SHMS (Structural Health Monitoring System) trong thời gian thực.

Bảng 3.1. Số lượng các trạm GPS/GNSS áp dụng cho một số cầu dây văng ở Việt Nam

Cầu	Tổng Số	Trạm động		Trạm tĩnh
		Trụ thấp	Dầm chính	
Cần Thơ	10	4+3	2	1
Vàm Cống*	4	2	1	1
Cao Lãnh*	9	4+2	2	1

*- theo hồ sơ thiết kế

3.2. Công nghệ GNSS trong quan trắc chuyển vị công trình

Hệ thống quan trắc công trình áp dụng công nghệ đo đạc GPS/GNSS trong thời gian thực cho phép xác định các chuyển vị và biến dạng của công trình với độ chính xác đến từng cm.

Hệ thống quan trắc công trình áp dụng công nghệ GNSS giải quyết được hai vấn đề chính:

- Thứ nhất – đảm bảo được công tác đo đạc và trắc đạc công trình trong suốt thời gian thi công, xây dựng công trình.
- Thứ hai – cho phép xác định độ chính xác và chất lượng thi công của công trình sau khi hoàn thành so với thiết kế ban đầu.



Hình 5. Bộ máy thu Topcon LEGACY-E [TOPCON]

4. ĐỘ CHÍNH XÁC CỦA HỆ THỐNG GNSS TRONG QUAN TRẮC BIẾN DẠNG TRỤ THẤP CÔNG TRÌNH CẦU DÂY VĂNG

Theo kết quả tính toán trong nghiên cứu [6] thì sai số trung phương phương đứng của một lần đo gần bằng $\sigma = \pm 9\text{mm}$, với độ tin cậy 2σ thì có thể áp dụng vào thực tế để giám sát độ chuyển dịch theo phương đứng của các công trình chịu tải trọng động có độ dịch chuyển lớn hơn 18mm. Còn đối với các công trình có độ chuyển dịch nhỏ hơn 18mm thì thiết bị sẽ

không phát hiện được, đây chính là những hạn chế của GPS.

Leica GeoSystem hiện nay cung cấp 3 loại ăng ten thu tín hiệu vệ tinh với độ chính xác rất cao, bao gồm AR10, AR 20 và AR25 (bảng 4.1).

Bảng 4.1. GPS Phase centre offsets and dispersion

Antenna	GPS freq	North (mm)	East (mm)	Up (mm)
AR25	L1	0.88	0.87	159.36
	L2	0.12	0.02	153.58
AR20	L1	0.14	-0.77	124.24
	L2	-0.01	-0.79	133.67
AR10	L1	1.29	-0.70	88.84
	L2	0.52	0.15	81.79
		Std (mm)	Std (mm)	Std (mm)
AR25	L1	0.42	0.38	0.55
	L2	0.64	0.32	0.77
AR20	L1	0.37	0.25	0.53
	L2	0.13	0.19	0.41
AR10	L1	0.67	0.39	0.30
	L2	0.58	0.17	0.27

5. ỨNG DỤNG CÁC CẢM BIẾN ĐO GÓC TRONG XÁC ĐỊNH BIÊN DẠNG TRỤ THÁP CẦU DÂY VẏNG

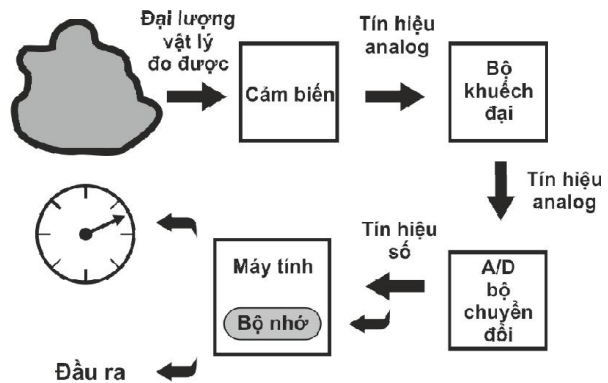
5.1. Tổng quan về công nghệ MEMS

Vào thế kỷ XX, các thiết bị điện tử được tích hợp với số lượng ngày càng lớn, kích thước ngày càng nhỏ và chức năng ngày càng được nâng cao. Điều này đã mang lại sự thay đổi sâu sắc về mặt công nghệ. Vào cuối những năm 50 của thế kỷ XX, một cuộc cách mạng hoá về công nghệ micro đã diễn ra và hứa hẹn một tương lai cho tất cả các ngành công nghiệp. Hệ thống vi cơ điện tử (Micro Electro-Mechanical Systems) viết tắt là MEMS đã được ra đời và phát triển trong giai đoạn này. MEMS bao gồm những cấu trúc vi cơ, vi sensor, vi chấp hành và vi điện tử cùng được tích hợp trên cùng một chip (on chip). Một thiết bị MEMS thông thường là một hệ thống vi cơ tích hợp trên một chip mà có thể kết hợp những phần cơ chuyển động với những yếu tố sinh học, hoá học, quang hoặc điện. Kết quả là các linh kiện MEMS có thể đáp ứng với nhiều loại lỗi vào: hoá, ánh sáng, áp suất, rung động vận tốc và gia tốc... Với ưu thế có thể tạo ra những cấu trúc cơ học nhỏ bé tinh tế và nhạy cảm,

công nghệ vi cơ hiện nay đã cho phép tạo ra những bộ cảm biến (sensor) được ứng dụng rộng rãi trong cuộc sống. Các bộ cảm biến siêu nhỏ và rất tiện ích này đã thay thế cho các thiết bị đo cũ kỹ, cồng kềnh trước đây.

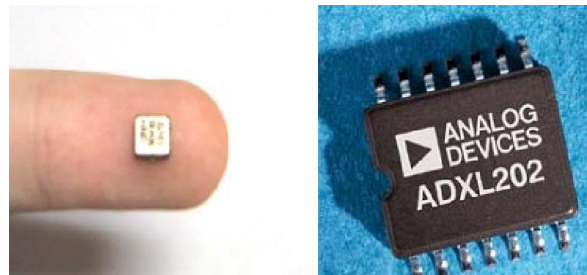
5.2. Vi cảm biến gia tốc

Cảm biến gia tốc là một thiết bị vi cơ dùng để đo gia tốc và được chế tạo theo công nghệ MEMS công nghệ vi cơ. Đó chính là một trong những sản phẩm phong phú và đa dạng nhất của công nghệ MEMS.



Hình 6. Sơ đồ một hệ đo gia tốc

Cảm biến vi cơ ngày càng nhanh hơn, nhạy hơn, nhẹ hơn, rẻ hơn và quan trọng hơn cả là có độ tin cậy rất cao so với các cảm biến chế tạo theo công nghệ điện tử trước đây.



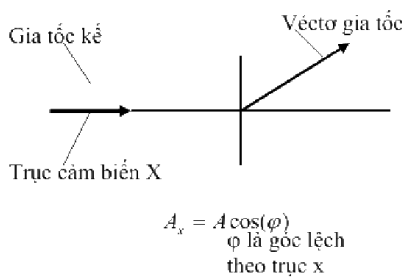
Hình 7. Cảm biến gia tốc vi cơ (MEMS) ADXL202

Cảm biến gia tốc vi cơ đã nhanh chóng thay thế các loại cảm biến gia tốc thông thường trước đây trong nhiều ứng dụng. Một vài những ứng dụng điển hình của cảm biến gia tốc vi cơ trong quan trắc chuyển vị:

- Cảm biến góc.
- Định hướng 3D trong không gian
- Phát hiện va chạm: cung cấp những thông tin về gia tốc, vận tốc và độ dịch chuyển giúp phân biệt sự va chạm và việc không xảy ra va chạm.

5.3. Nguyên tắc hoạt động của cảm biến gia tốc

Gia tốc là sự thay đổi của vận tốc theo thời gian. Vận tốc đến lượt nó lại đo sự thay đổi của độ dịch chuyển theo thời gian. Lực trọng trường là nguyên nhân gây ra gia tốc rơi tự do và gia tốc này bằng 9.81 m/s^2 (1g).



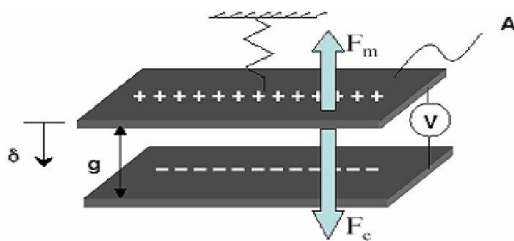
- Gia tốc thường được tính thông qua lực gây ra gia tốc đó vì lực liên hệ với gia tốc theo công thức:

$$F = m \cdot a$$

F là lực gây ra gia tốc, m là khối lượng, a là gia tốc.

Các thiết bị dùng để đo gia tốc phải xác định được giá trị của lực tác dụng lên một khối vật thể đã biết trước.

- Một cách tiếp cận khác để tính toán gia tốc đó là: Gia tốc là đạo hàm của vận tốc theo thời gian. Vận tốc lại là đạo hàm của độ dịch chuyển theo thời gian.



Hình 8. Sơ đồ tụ điện phẳng của cảm biến gia tốc vi cơ

$$E = \frac{1}{2} CV^2 \quad k = \frac{\partial F}{\partial x} \quad F = \frac{\partial E}{\partial x} = \frac{1}{2} \frac{\partial C}{\partial x} V^2$$

$$C = \frac{\epsilon A}{g - \delta} \quad FM = \frac{\partial C / \partial x}{C} \quad C = \frac{Q}{V}$$

trong đó:

g - khoảng cách giữa hai bản tụ điện

δ - độ dịch chuyển của hai bản tụ

C - điện dung của tụ điện

E - năng lượng hay điện trường giữa hai bản tụ

k - hằng số đàn hồi

FM - hệ số phẩm chất

5.4. Xác định chuyển vị trụ tháp bằng cảm biến góc

Để xác định các chuyển vị và dao động của trụ tháp cầu dây văng ngoài việc ứng dụng công nghệ GPS/GNSS hiện nay trên thế giới cũng áp dụng một phương pháp khác – đó là sử dụng các cảm biến góc nghiêng (inclinometer) lắp đặt trên trụ tháp. Có rất nhiều cảm biến góc nghiêng với độ chính xác rất lớn lên đến $0,001 \text{ deg}$, như inclinometer CL-2 (Closed Loop Dual Axis Servo Inclinometer) của hãng Level Development (Anh) hay TSD – 232 Series của Instruments & Control Ltd (Israel). Chúng ta thử làm một bài toán so sánh độ chính xác của cảm biến đo góc và GPS trên ví dụ chiều cao trụ tháp của cầu Mỹ Thuận (116,5m). Theo kết quả báo cáo của “**Công trình quan trắc biến dạng cầu Mỹ Thuận Quốc lộ 1 năm 2010**” của Trung tâm trắc địa bản đồ biển thực hiện cho Khu quản lý đường bộ 2 thì dao động lớn nhất của trụ tháp được xác định là dao động ở tháp Tây bắc với giá trị $0,039 \text{ m}$ (3,9cm). Với độ chính xác là $0,001 \text{ deg}$ của inclinometer thì độ chính xác bằng cm tính cho cầu Mỹ Thuận là:

$$11650 \text{ cm} \times \tan(0,001 \text{ deg}) = 0,2033 \text{ cm} \approx 2 \text{ mm}$$

Từ kết quả trên cho thấy là dao động đo được của cầu Mỹ Thuận hoàn toàn có thể xác định được bởi inclinometer. Với độ chính xác tới mm như vậy các cảm biến góc nghiêng có độ chính xác tương đồng với các thiết bị GPS và hòa toàn có thể thay thế chúng trong việc quan trắc dao động của trụ tháp.

Bảng 5.1. Thống kê một số cầu áp dụng cảm biến góc*

STT	Quốc gia	Tên cầu	Loại cầu	Inclinometer
1	Anh Quốc	Humber Bridge	Cầu dây võng	Có
2	Đan mạch	Faro	Cầu dây văng	Có
3	Đan mạch	Great Belt	Cầu dây võng	Có
4	Trung Quốc	Humen	Cầu dây võng	Có
5	Hàn Quốc	Gwangan	Cầu dây võng	Có
6	Hàn Quốc	Namhae	Cầu dây võng	Có
7	Hàn Quốc	Youngjong	Cầu dây võng	Có
8	Trung Quốc	Sutong	Cầu dây văng	Có
9	Trung Quốc	Stonecutters	Cầu dây văng	Có
10	Trung Quốc	Nanjing Yangtze River	Cầu dây văng	Có
11	Na uy	Skarnsundet	Cầu dây văng	Có
12	Trung Quốc	Zhanjiang Bay	Cầu dây văng	Có
13	Hàn Quốc	Seohae	Cầu dây văng	Có
14	Thái Lan	Rama IX	Cầu dây văng	Có
15	Hàn Quốc	Jindo	Cầu dây văng	Có

* Nguồn: NeoStrain

6. KẾT LUẬN

Hệ thống quan trắc công trình cầu dây văng là một hệ thống phức tạp, được tích hợp nhiều công nghệ tiên tiến nhằm quan trắc giám sát trạng thái công trình liên tục trong thời gian thực. Công nghệ GPS là một trong những công nghệ được áp dụng với mục đích giám sát các dao động và biến dạng của công trình.

Nhưng với giá thành cao, giải pháp này có thể được thay thế bởi các cảm biến đo góc nghiêng với độ chính xác tương đương nhưng với giá thành rẻ hơn tới cả chục lần. Yếu tố kinh tế là một yếu tố quan trọng cần được lưu ý đối với việc thiết lập một hệ thống quan trắc công trình với những cầu dây văng đang triển khai ở nước ta.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Agnew, D.C. and Larson, K.M. (2007). "Finding the repeat times of the GPS constellation". GPS Solutions (Springer) 11 (1): 71–76. doi: 10.1007/s10291-006-0038-4
- [2] Đặng Văn Công Bằng. "Khảo sát độ chính xác phương đứng của kỹ thuật đo động gps-Monitoring vertical accuracies of gps kinematic technique". Bộ môn Địa tin học, Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Đại học Bách khoa, Tp. Hồ Chí Minh, Việt Nam
- [3] John Pike. "GPS III Operational Control Segment (OCX)". Globalsecurity.org. 8.12.2009
- [4] Justin Walford. (2012). "State of The Art, Leading Edge Geodetic Antennas from Leica Geosystems". Leica Geosystems, Heerbrugg, Switzerland, 2012
- [5] Krzysztof Karsznia, Maciej Wrona. (2009). "Łącząc brzegi". Magazyn Geoinformacyjny Geodeta Nr7 (170). Lipiec 2009. p. 46-50
- [6] Lương Minh Chính. (2013). "Hệ thống quan trắc công trình cầu lớn". Hội nghị khoa học thường niên năm 2013. Trường Đại học Thủy Lợi. 2013

- [7] Luong Minh Chinh. (2014). "Long term structural health monitoring system for cable stayed bridge in Viet Nam". Journal of Water Resources & Environmental Engineering No 44 (3/2014). ISSN 1859 – 3941. p. 11-16.
- [8] Marek Skłodowski., "Współczesny monitoring obiektów budowlanych". Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN. Pracownia Adaptroniki, email: msklod@ippt.gov.pl
- [9] Quyết định số 05/2007/QĐ-BTNMT ngày 27/02/2007 về công bố tham số dịch chuyển góc tọa độ VN-2000. Bộ Tài nguyên và Môi trường
- [10] Trung tâm trắc địa bản đồ biển, Đoàn đo đạc miền nam (2010). "Báo cáo kết quả - Công trình quan trắc biến dạng cầu Mỹ Thuận Quốc lộ 1 năm 2010". Khu quản lý đường bộ VII. Tổng cục đường bộ Việt Nam

Abstract

MONITORING METHODS DETERMINE DISPLACEMENTS OF THE CABLE-STAYED BRIDGE TOWER ON STRUCTURAL HEALTH MONITORING SYSTEM (SHMS).

Structural health monitoring system (SHMS) is complicated system, consisting a lot of modern measurement technologies to determine technical conditions of cable stayed bridge in the real time. GPS technology is one of most advanced technology used to monitoring displacements and deformation of the structure. But a high installation cost of this technology are often deterred and can be replaced by cheaper inclinometers with a similar accuracy. The economic aspect is one of the most important factors to be taken into design of such systems. Through this article the author compares the different technologies can be used to monitor the movements of the pylon cable-stayed bridge.

Keywords:GPS/GNSS, SHMS, Structural health monitoring system, cable-stayed bridge, inclinometer.

BBT nhận bài: 29/01/2015

Phản biện xong: 01/4/2015